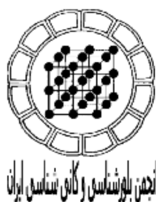
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ اول، بهار ۹۴، از صفحهٔ ۳۳ تا ۴۴



بررسی شیمی کانی بیوتیت در گرانیتوئید مکسان، جنوب شرق ایران

محمدرضا قدسی*[۱]، محمد بومری[۱]، ساسان باقری[۱]، کازو ناکاشیما[۲]

۱-بخش زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲-دپارتمان علوم زمین و زیست محیطی، دانشگاه یاماگاتا، یاماگاتا، ژاپن

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۱/۱۴، نسخه نهایی: ۹۴/۲/۲۶)

چکیده: گرانیتوئید مکسان در حاشیه‌ی جنوبی بلوک لوت و در جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. ترکیب این گرانیتوئید عبارتند از گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز مونزودیوریت، مونزودیوریت، دیوریت و گابرو. شیمی کانی بیوتیت در سنگ‌های گرانیتی تا گابرویی با کمک ریزپردازنده الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها از نوع بیوتیت‌های منیزیم‌دار بوده و با توجه به مقادیر TiO_2، MgO، MnO، FeO و نیز مقادیر Al^{IV} جزء انواع ماگمایی اولیه به حساب می‌آیند. این بیوتیت‌ها در محیط با گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده و صفات آهکی- قلیایی و نوع I نشان می‌دهند که با ویژگی‌های تکتونوماگمایی محیط‌های وابسته به فرورانش همخوانی دارد. همچنین شیمی کانی بیوتیت نشان می‌دهد که آلودگی ماگمای سازنده این گرانیتوئید با پوسته قاره‌ای، کم تا متوسط است.

واژه‌های کلیدی: *شیمی کانی؛ بیوتیت؛ گرانیتوئید؛ مکسان ؛ ایران.*

مقدمه

بیوتیت یکی از کانی‌های مهم فرومنیزین در سنگ‌های آذرین فلسیک است و در سنگ‌های آذرین مافیک به شکل فاز فرعی ظاهر می شود [۱]. از ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها برای بازتاب طبیعت تشکیل این کانی و پی بردن به شرایط فیزیکوشیمیایی ماگمای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها استفاده می‌شود. بررسی‌های متعدد نشان داده است که ژئوشیمی بیوتیت می‌تواند اطلاعات خوبی درباره فرآیند ذوب و شرایط ترمودینامیک تبلور مذاب گرانیتی آشکار نماید[۱-۳]. ترکیب بیوتیت بیشتر وابسته به ماهیت ماگماهایی است که از آن متبلور می‌شود و پتانسیل این کانی برای انعکاس ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما بالا است [۳،۲]. بررسی ترکیب شیمی کانی بیوتیت برای تعیین پتروژنز و محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدی در ایران موضوعی است که به تازگی در دهه اخیر توجه برخی از پژوهشگران را به خود جلب کرده است [۴-۸] و هدف این پژوهش در همین راستاست.

گرانیتوئید مکسان بخش مهمی از مجموعه گرانیتوئید بزمان به شمار می‌رود که در حاشیه جنوبی بلوک لوت و در نزدیکی پیوستگاه چندین پهنه ساختاری-رسوبی مهم ایران از قبیل کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر، کمان آتشفشانی مکران (بزمان، تفتان و کوه سلطان) و زون فلیش شرق ایران قرار گرفته است که اهمیت بررسی آن را دو چندان می‌کند. این گرانیتوئید یک توده آذرین با کشیدگی شرقی-غربی است که در حدود ۳۰ کیلومتر طول و ۲۰ کیلومتر عرض دارد. از جمله مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در منطقه می‌توان به بررسی‌های زمین‌شناسی [۹] اشاره نمود. وی تشکیل گرانیتوئید بزمان را به زون فرورانش فعال مکران مرتبط دانسته است. ژئوشیمی رسوب‌های آبراهه‌ای و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۵۴۰۴۵۹۰، نمابر:؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟، پست الکترونیکی: Mohammadreza.Ghodsi@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]

زمین‌شناسی اقتصادی برگه جازموریان را مورد بررسی و پتانسیل‌های زمین‌شناسی اقتصادی و بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی مرتبط با کانی‌سازی را معرفی نموده است[۱۰]. تشکیل اسکارن و کانی‌زایی مس گربدر در جنوب شرق کوه بزمان را بررسی نموده و بیان می‌کند که متامورفیسم سنگ‌های رسوبی کربنیفر-پرمین در مجاورت گرانیتوئید بزمان سبب تشکیل اسکارن و کانی‌زایی مس شده است[۱۱].

تاکنون بررسی‌های جامعی بر روی گرانیتوئید مکسان صورت نگرفته است و این نوشتار به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و شیمی کانی بیوتیت در توده‌های مختلف می‌پردازد. یکی از ویژگی‌های جالب توده نفوذی گرانیتوئیدی مکسان منطقه بندی آن است به‌طوری که از حاشیه به سمت مرکز، ترکیب شیمیایی آن از بازیک تا اسیدی تغییر می‌کند و کانی بیوتیت در اکثر توده‌های نفوذی مشاهده می‌شوند. به این دلیل ممکن است این تغییرات در شیمی بیوتیت نیز منعکس شود. لذا در این بررسی، داده‌های ترکیب شیمیایی کانی بیوتیت در گرانیتوئید مکسان به‌منظور آگاهی بیشتر مسائل سنگ زایی و تکتونوماگمایی به‌کار گرفته شد.

روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه‌برداری دقیقی از گرانیتوئید مکسان صورت گرفت. حدود ۱۰۰ مقطع نازک از این نمونه‌ها تهیه شدند و با کمک میکروسکوپ پلاریزان مدل Olympus مورد بررسی قرار گرفتند و پس از آشنایی با ویژگی‌های کانی شناختی و سنگ‌شناسی، تعداد ۱۰ مقطع که نمونه‌هایی سالم و فاقد دگرسانی بودند، برای آنالیز نقطه‌ای انتخاب شدند (جدول ۱). تجزیه‌های نقطه‌ای بیوتیت (تعداد۶۲ نقطه) با ریز پردازنده الکترونی مدل JEOL. JXA-8600M با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ کیلو وات و جریان تابشی 2×10^{-8} amp در بخش علوم زمین و محیط زیست دانشگاه یاماگاتا در کشور ژاپن انجام شد و نتایج آنالیزها در نرم افزار Excel و Minpet 2.02 پردازش شدند.

جدول ۱ نتایج ریز پردازش الکترونی کانی بیوتیت در گرانیتوئید مکسان.

Samples no	۴۳۸	۱۶۰	۷	۱۳	۳۱۶	۵۰	۱۱۱	۳۲۰	۳۴۰	۱۲
n	۸	۱۱	۹	۳	۳	۳	۳	۱۰	۲	۱۰
Rock type	**Granite**			**Granodiorite**		**Monzodiorite**		**Diorite**	**Gabbro**	
SiO_2	۰۳/۳۸	۷۱/۳۵	۸۹/۳۸	۲۶/۳۷	۶۰/۳۷	۶۱/۳۷	۶۱/۳۷	۴۱/۳۷	۸۱/۳۶	۶۲/۳۷
TiO_2	۰۰/۲	۷۸/۲	۹۱/۲	۶۰/۲	۲۲/۳	۵۹/۲	۵۵/۳	۲۵/۴	۱۱/۴	۷۲/۴
Al_2O_3	۳۸/۱۴	۶۷/۱۴	۶۵/۱۴	۴۰/۱۴	۳۵/۱۴	۹۱/۱۴	۹۵/۱۳	۵۰/۱۳	۴۱/۱۴	۸۴/۱۳
FeO	۶۱/۱۶	۰۳/۱۶	۲۲/۱۷	۹۴/۱۷	۱۹/۱۷	۳۲/۱۸	۴۶/۱۹	۰۸/۱۹	۱۰/۱۷	۶۹/۱۶
MnO	۴۷/۱	۰۵/۱	۰۱/۱	۳۸/۰	۵۰/۰	۲۹/۰	۳۵/۰	۳۳/۰	۱۳/۰	۰۹/۰
MgO	۳۵/۱۳	۱۳/۱۱	۳۷/۱۳	۰۷/۱۳	۳۳/۱۲	۲۶/۱۲	۵۸/۱۱	۹۵/۱۱	۳۸/۱۳	۱۲/۱۳
CaO	۰۴/۰	۰۴/۰	۰۱/۰	۲۴/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۷/۰	۰۵/۰	۰۸/۰	۱۴/۰
Na_2O	۰۷/۰	۱۱/۰	۰۷/۰	۱۰/۰	۱۰/۰	۰۶/۰	۱۰/۰	۰۹/۰	۱۱/۰	۰۸/۰
K_2O	۱۶/۹	۸۳/۸	۵۶/۹	۳۲/۸	۴۷/۹	۶۲/۹	۶۹/۸	۳۲/۹	۱۳/۹	۰۵/۹
BaO	۰۷/۰	۱۷/۰	۰۰/۰	۰۳/۰	۰۵/۰	۰۰/۰	۰۹/۰	۰۷/۰	۴۵/۰	۰۸/۰
Cl	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۵/۰	۱۸/۰	۰۸/۰	۰۷/۰	۱۵/۰	۵۷/۰	۱۴/۰	۲۵/۰
F	۹۹/۰	۵۹/۰	۹۰/۰	۷۹/۰	۳۲/۰	۱۹/۰	۳۲/۰	۲۰/۰	۰۷/۰	۳۳/۰
O =-cl	۰۰/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۱۳/۰	۰۳/۰	۰۶/۰
O =-F	۴۲/۰	۲۵/۰	۳۸/۰	۳۳/۰	۱۴/۰	۰۸/۰	۱۳/۰	۰۹/۰	۰۳/۰	۱۴/۰
H_2O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Total	۷۴/۹۹	۸۸/۹۴	۲۵/۱۰۲	۹۲/۹۸	۰۷/۹۹	۸۱/۹۹	۷۴/۹۹	۶۱/۱۰۰	۸۴/۹۹	۷۹/۹۹
T Site										
Si	۷۵/۵	۶۸/۵	۷۲/۵	۶۸/۵	۷۱/۵	۶۹/۵	۷۱/۵	۶۷/۵	۵۵/۵	۶۵/۵
Al^{IV}	۲۵/۲	۳۲/۲	۲۸/۲	۳۲/۲	۲۹/۲	۳۱/۲	۲۹/۲	۳۳/۲	۴۵/۲	۳۵/۲
M Site										
Al^{VI}	۳۱/۰	۴۴/۰	۲۷/۰	۲۶/۰	۲۸/۰	۳۴/۰	۲۱/۰	۰۸/۰	۱۲/۰	۱۰/۰
Ti	۲۳/۰	۳۳/۰	۳۲/۰	۳۰/۰	۳۷/۰	۳۰/۰	۴۱/۰	۴۸/۰	۴۷/۰	۵۳/۰
Fe	۱۰/۲	۱۳/۲	۱۲/۲	۲۹/۲	۱۸/۲	۳۲/۲	۴۷/۲	۴۲/۲	۱۶/۲	۱۰/۲
Mn	۱۹/۰	۱۴/۰	۱۳/۰	۰۵/۰	۰۶/۰	۰۴/۰	۰۵/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۱/۰
Mg	۰۱/۳	۶۳/۲	۹۳/۲	۹۷/۲	۷۹/۲	۷۶/۲	۶۲/۲	۷۰/۲	۰۱/۳	۹۴/۲
I Site										
Ca	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۰/۰	۰۴/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۲/۰
Na	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۲/۰
K	۷۷/۱	۷۹/۱	۷۹/۱	۶۲/۱	۸۴/۱	۸۶/۱	۶۸/۱	۸۰/۱	۷۶/۱	۷۴/۱
Ba	۰۰/۰	۰۱/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۱/۰	۰۰/۰	۰۳/۰	۰۰/۰
A Site										
Cl	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۷/۰	۰۲/۰	۰۳/۰
F	۲۴/۰	۱۵/۰	۲۱/۰	۱۹/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۲/۰	۰۸/۰
OH*	۷۶/۳	۸۵/۳	۷۹/۳	۷۹/۳	۹۱/۳	۹۵/۳	۹۰/۳	۸۸/۳	۹۷/۳	۸۹/۳
Fe/Fe+Mg	۴۱/۰	۴۵/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۴۴/۰	۴۶/۰	۴۹/۰	۴۷/۰	۴۲/۰	۴۲/۰
Log (XF/XOH)	-۲۱/۱	-۴۴/۱	-۲۸/۱	-۳۰/۱	-۹۹/۱	-۹۵/۱	-۷۱/۱	-۰۲/۲	-۰۰/۳	-۷۸/۱
Log (XCl/XOH)	-۱۵/۳	-۰۸/۳	-۸۵/۲	-۲۲/۲	-۵۷/۲	-۶۴/۲	-۳۲/۲	-۷۲/۱	-۳۵/۲	-۱۰/۲
Log (XF/XCl)	۹۴/۱	۶۴/۱	۵۷/۱	۹۲/۰	۵۸/۰	۶۹/۰	۶۱/۰	-۲۹/۰	-۶۵/۰	۳۲/۰

*OH=4-(F+Cl)

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]

مقادیر کاتیونی بر اساس ۲۲ اکسیژن محاسبه و بنابر فرمول کلی میکا [۱۲] $(IM_{2-3}\}_{1-0}T_4O_{10}A_2)$، فرمول ساختاری آن-ها تعیین شد. فلوئور و کلر موجب اکسیژن اضافی و در نتیجه افزایش جمع کل ترکیبات می‌شود و در این بررسی مقدار اضافی مذکور از طریق تقسیم وزن اتمی اکسیژن بر وزن اتمی فلوئور یا کلر محاسبه و سپس از جمع کل ترکیبات کاسته شد تا جمع واقعی به‌دست آید. مقدار آب با فرض ۴ اتم در جای هیدروکسیل با فرض عنصر سنجی کامل بر مبنای ۲۲ اکسیژن محاسبه شد. جهت محاسبه OH در فرمول بیوتیت، مجموع فلوئور و کلر از چهار کسر گردید. مقادیر Fe^{2+} و Fe^{3+} به روش [۱۳] محاسبه گردید.

زمین‌شناسی گرانیتوئید مکسان

گستره مورد بررسی در ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب ایرانشهر، حاشیه جنوبی بلوک لوت و در جنوب شرق ایران واقع شده است. گرانیتوئید مکسان با وسعت تقریبی ۶۰۰ کیلومتر مربع بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ هامون جازموریان و ۱:۱۰۰/۰۰۰ مکسان است که در حد فاصل بین طول‌های جغرافیایی ′۴۴ °۵۹ تا ′۴ °۶۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۳۶ °۲۷ تا ′۵۴ °۲۷ شمالی قرار دارد (شکل ۱). این گرانیتوئید بخش مهمی از مجموعه گرانیتوئید بزمان است که در غرب بزمان (شمال روستای مکسان) قرار گرفته است و به درون سنگ‌های قدیمی‌تر از قبیل شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک (سازند سردر) به سن کربنیفر و آهک و دولومیت‌های (سازند جمال) به سن پرمین نفوذ کرده است [۱۴]. سنگ‌های بازیک و حد واسط به صورت نوار باریکی در حاشیه‌ی گرانیتوئید و در اطراف بخش‌های اسیدی رخنمون دارند. شار حرارتی برخاسته از نفوذ گرانیتوئید مکسان به درون سازند سردر منجر به پیدایش رخساره‌های دگرگونی مجاورتی از قبیل آندالوزیت، کردیریت هورنفلس گردیده است. چگونگی همبری زیرین این واحد به‌دلیل نبود برونزدهایی از واحدهای سنگی قدیمیتر مشخص نیست، ولی همبری زبرین آن با واحد سنگی جمال ناپیوسته و پیشرونده است بدین صورت که واحد سنگی سازند جمال به‌وسیله ماسه سنگ کوارتز آرنایت پایه برروی سازند سردر قرار می‌گیرد [۱۴]. سازند جمال در منطقه مورد بررسی عمدتاً شامل ماسه سنگ، کوارتز آرنایت، دولومیت و آهک است که در اثر شارحرارتی گرانیتوئید مکسان تبدیل به مرمر شده است[۱۴]. جوانترین فعالیت ماگمایی در گستره‌ی مورد بررسی مربوط به فعالیت‌های آتشفشانی پلیوکواترنر آتشفشان بزمان است که در شمال منطقه رخنمون دارند. ترکیب سنگ‌شناسی گدازه‌های آتشفشانی عمدتاً بازالت، آندزیت، داسیت و توف‌های آتشفشانی مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی کوه بزمان است [۱۴، ۱۵].

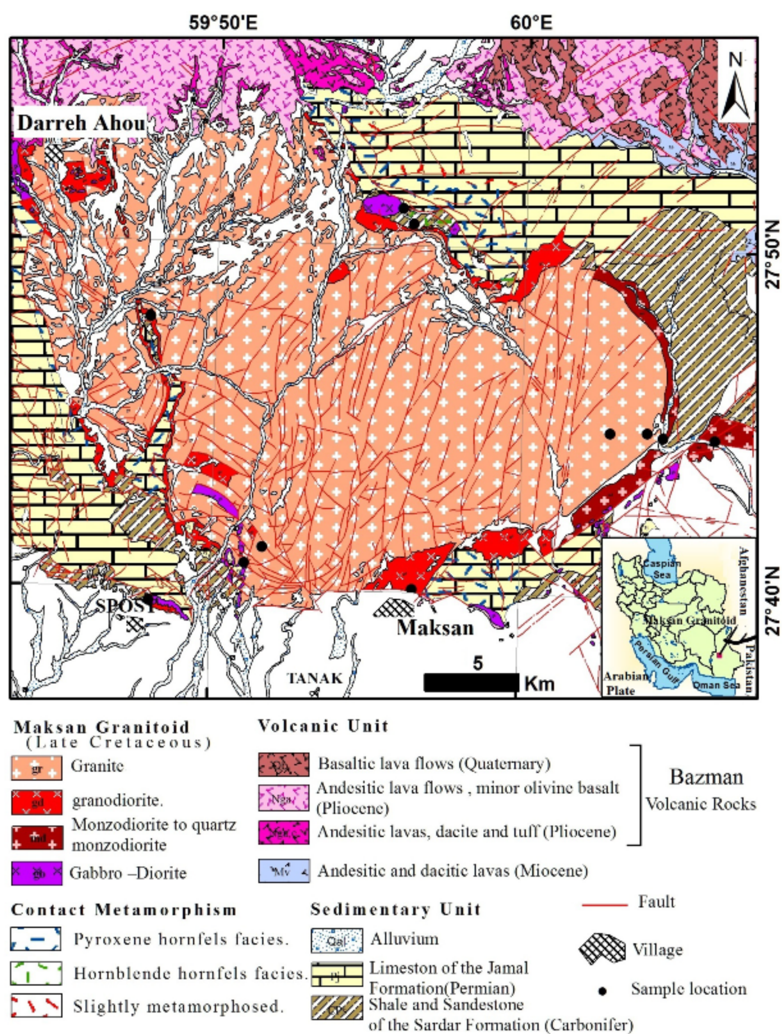
بخش‌های جنوبی گرانیتوئید مکسان را مورد بررسی زمین-شناسی قرار دادند و با استفاده از شواهد زمین شناسی نشان دادند که این گرانیتوئید ویژگی های ماگماتیسم نوع آندی داشته و ترکیب شیمیایی آن از حاشیه به مرکز اسیدی‌تر می-شود[۱۶] . سن‌سنجی به روش روبیدیوم-استرانسیوم که بر روی شماری از نمونه‌های گرانیتی توسط بربریان و همکاران [۱۶] انجام شده است، سنی معادل ۷۴ تا ۶۴ میلیون سال را نشان داده است که به اواخر کرتاسه پسین و اوایل پالئوسن مربوط می‌شود. بربریان [۹] پیشنهاد می کند که مجموعه گرانیتوئید بزمان بر روی منطقه فرورانش عمان (پوسته اقیانوسی عربی) جای دارد و حاصل ذوب گوشته یا پوسته اقیانوسی (عمان) به زیر ورقه ایران مرکزی است که در کواترنری با فوران‌های آهکی قلیایی آتشفشان‌های بزمان، تفتان و کوه سلطان (پاکستان) همراه شده است.

سنگ شناسی و کانی‌شناسی گرانیتوئید مکسان

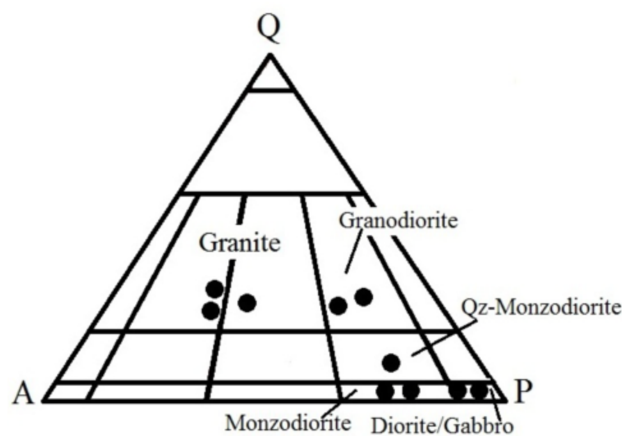
برای نامگذاری سنگ های نفوذی از رده بندی مدی [۱۷] استفاده شده است. شمارش ۳۰۰۰ نقطه با کمک دستگاه شمارنده کانی‌ها برای هر نمونه صورت گرفت. مطابق با این رده بندی سنگ‌های گستره مورد بررسی گرانیت، گرانودیوریت، کوارتزمونزدیوریت، مونزدیوریت، دیوریت و گابرو نامگذاری شده اند (شکل۲). کانی‌های تشکیل دهنده این گرانیتوئید شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپارهای قلیایی بیشتر از نوع ارتوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کلینوپیروکسن، اسفن، آپاتیت، زیرکن، مگنتیت و ایلمنیت است. هورنبلند و بیوتیت کانی فرومنیزین غالب در گرانیتوئید مکسان است (شکل۳). میزان کانی های فرومنیزین (هورنبلند و بیوتیت) از حاشیه (گابرو) به سمت مرکز (گرانیت) کاهش می‌یابد.

کانی بیوتیت معمولاً به رنگ قهوه‌ای در مقاطع دیده می-شود. این کانی در مقاطع مورد بررسی نیمه شکل-دار تا بی-شکل بوده و به‌صورت ورقه‌ای و مستطیلی دیده می‌شود. چند رنگی مشخص بیوتیت‌ها به‌صورت قهوه‌ای کمرنگ تا قهوه‌ای تیره قابل مشاهده است.

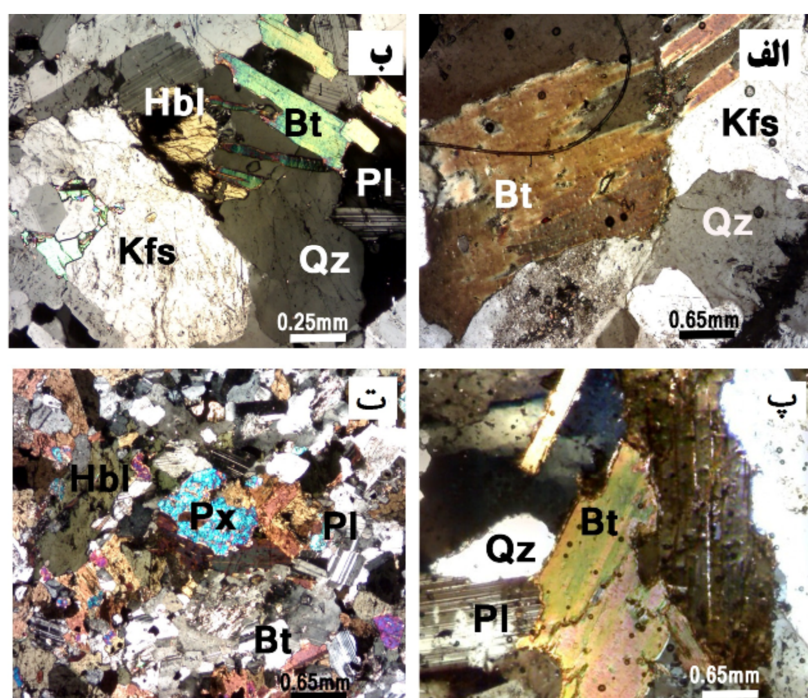
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]



شکل۱ نقشه‌ی ساده زمین‌شناسی گرانیتوئید مکسان ، اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ : ۱ بزمان و مکسان [۱۴، ۱۵] با تغییرات توسط نگارندگان.



شکل۲ موقعیت نمونه‌ها در مثلث نام‌گذاری مدی سنگ‌های نفوذی [۱۷] .



شکل۳ تصاویر میکروسکوپی انتخابی از رخنمون‌های مختلف سنگی(XPL): الف) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های گرانیتی همراه با بلورهای بیوتیت، فلدسپار و کوارتز ب) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های گرانودیوریت همراه با بلورهای هورنبلند، بیوتیت، کوارتز ، پلاژیوکلاز و ارتوز پ) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های کوارتز مونزودیوریتی همرا با بلورهای کوارتز، بیوتیت و پلاژیوکلاز ت) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های گابرویی همراه با بلورهای پیروکسن، پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت.

گرانیت

گرانیت‌ها گسترده‌ترین واحد سنگی گرانیتوئید مکسان به شمار می‌آیند. بافت اصلی در سنگ‌های گرانیتی پورفیروئید است اما بافت‌های دانه‌ای و گرانوفیری نیز در نمونه‌ها دیده می‌شود. گرانیت‌های دارای بافت پورفیروئیدی، حاوی درشت بلورهای ارتوزکلاز به رنگ صورتی بوده که اندازه آن‌ها به ۲ تا ۳ سانتی متر می‌رسد. کوارتز در حدود ۲۷ تا ۲۹ درصد، ارتوکلاز بین ۳۹ تا ۴۵ درصد، پلاژیوکلاز ۲۲ تا ۲۹ درصد و کانی‌های فرعی بیوتیت و هورنبلند (کمتر از ۳ درصد)، اسفن، زیرکن، آپاتیت و کانی‌های تیره (کمتر از یک درصد) مشخص می‌شوند. کانی بیوتیت به‌صورت بلورهای صفحه‌ای شکل در مقاطع دیده می‌شود و چند رنگی مشخص بیوتیت‌ها به‌صورت قهوه‌ای کمرنگ تا قهوه‌ای تیره قابل مشاهده است (شکل ۳) .

گرانودیوریت

گرانودیوریت‌ها به‌صورت توده‌های کوچکی در حاشیه جنوبی و غربی گرانیتوئید مکسان مشاهده می‌شوند. اغلب بافت دانه‌ای دارند. پلاژیوکلاز ۴۱ تا ۴۶ درصد، کوارتز در حدود ۲۰ تا ۲۳ درصد، ارتوکلاز بین ۱۴ تا ۲۶ درصد، بیوتیت ۲ تا ۹ درصد، هورنبلند ۵ تا ۹ درصد، اسفن، زیرکن، آپاتیت و کانی‌های تیره (کمتر از یک درصد) مشخص می‌شوند (شکل ۳). هورنبلند و بیوتیت کانی فرومنیزین غالب در گرانودیوریت مکسان هستند. بررسی‌های کانی‌شناسی و شواهد بافتی حاکی از حضور بیوتیت های اولیه (آذرین) به صورت صفحه‌های نامنظم و با چند رنگی قهوه‌ای کمرنگ تا تیره در این گروه از سنگ‌ها است. کانی‌های تیره بیشتر شامل مگنتیت و ایلمنیت است.

دیوریت – مونزودیوریت

این گروه از سنگ‌ها بیشتر به‌صورت نوار باریکی در حاشیه شرقی گرانیتوئید مکسان رخنمون دارند. غالباً بافت دانه‌ای دارند. پلاژیوکلاز ۵۰ تا ۶۶ درصد، ارتوکلاز بین ۱۵ تا ۱۷ درصد، بیوتیت ۱ تا ۱۲ درصد، هورنبلند ۲ تا ۱۸ درصد، کوارتز کمتر از ۵ درصد، اسفن، زیرکن، آپاتیت (کمتر از یک درصد) و کانی‌های تیره (کمتر از دو درصد) مشخص می شوند (شکل ۳). کانی‌های تیره غالب مگنتیت و ایلمنیت است. بیوتیت‌های اولیه به صورت صفحات بزرگ نامنظم مشاهده می‌شوند.

گابرو

سنگ‌های گابرویی به‌صورت برونزدهای کوچکی در حاشیه جنوبی گرانیتوئید مکسان مشاهده می‌شوند. بافت‌های دانه‌ای و پوئی کلیتیک دارند. کانی‌های پلاژیوکلاز ۴۷ تا ۶۵ درصد، هورنبلند ۰ تا ۳۰ درصد، کلینوپیروکسن ۶ تا ۱۸ درصد، بیوتیت ۴ تا ۶ درصد، تشکیل دهنده اصلی این گروه هستند (شکل ۳). میزان کانی‌های تیره (Fe-Ti) در سنگ‌های گابرویی حداکثر به ۵ درصد می‌رسد و کانی تیره غالب مگنتیت است. بلورهای پلاژیوکلاز در برخی از مقاطع تحت تاثیر نیروهای زمین ساختی کج شده‌اند. کانی کلینوپیروکسن به‌طور معمول از ناحیه رخ‌ها و شکستگی‌ها به اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند. کانی بیوتیت از بلورهای صفحه‌ای بی‌شکل تا کشیده دیده و در برخی از مقاطع به اکسیدهای آهن و کلریت تجزیه شده است.

بحث و بررسی

ترکیب شیمی کانی بیوتیت

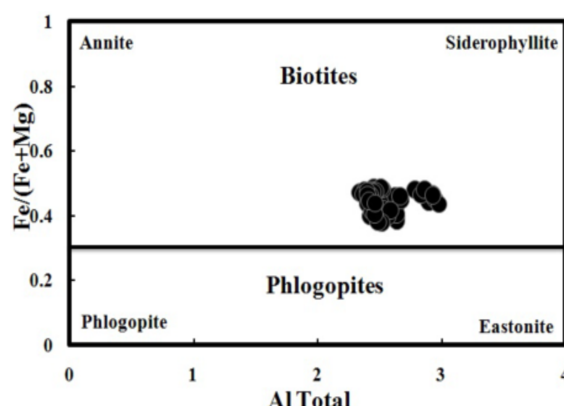
ترکیب میکاهای مورد بررسی چنانکه از شکل ۴ پیداست در قلمرو بیوتیت (آنیت-سیدروفیلیت) قرار گرفته و هیچ یک در قلمرو فلوگوپیت قرار نگرفته است. چنانکه مشاهده می‌شود همه نمونه‌های بیوتیت موجود در گرانیتوئید مکسان دارای بازه مقادیر Al کل متوسط (۲٫۹۸-۲٫۳۴) و آهن کم (۰٫۴۹-۰٫۳۸) هستند. میانگین مقادیر Al کل از گرانیت تا گابرو روند کاهشی را نشان می‌دهد. به‌طوری که مقدار میانگین Al کل سنگ‌های گرانیتی ۲٫۶۴ ، گرانودیوریت ۲٫۵۸، مونزودیوریت ۲٫۵۸ ، گابرو ۲٫۴۷ و دیوریت ۲٫۴۱ تغییر پیدا می‌کند. افزایش میزان Al کل نسبت به تغییرات کم آهن در بیوتیت های گرانیتوئید مکسان می‌تواند بیانگر آلودگی پوسته ای باشد[۶] .

کانی بیوتیت در سیستم‌های ماگمایی، دگرگونی و دگرنهادی، به تغییرات دما، فشار و فعالیت سازنده‌هایی چون O_2، SiO_2، F، H_2O، کاملاً حساس است [۱۸]. فاکتورهای فیزیکوشیمیایی یاد شده همراه با امکان جانشینی در چهار جایگاه ساختاری شامل جایگاه چهار وجهی (T) هشت وجهی (M)، میان لایه‌ای (X) و هیدروکسیل (OH, F, Cl) تغییر پذیری ترکیبی بیوتیت‌ها را ممکن ساخته است. بیوتیت‌های سنگ‌های آذرین غنی از سیلیس معمولاً یک روند غنی شدگی از آهن را نسبت به انواع فقیر از سیلیس نشان می دهند [۱۸].

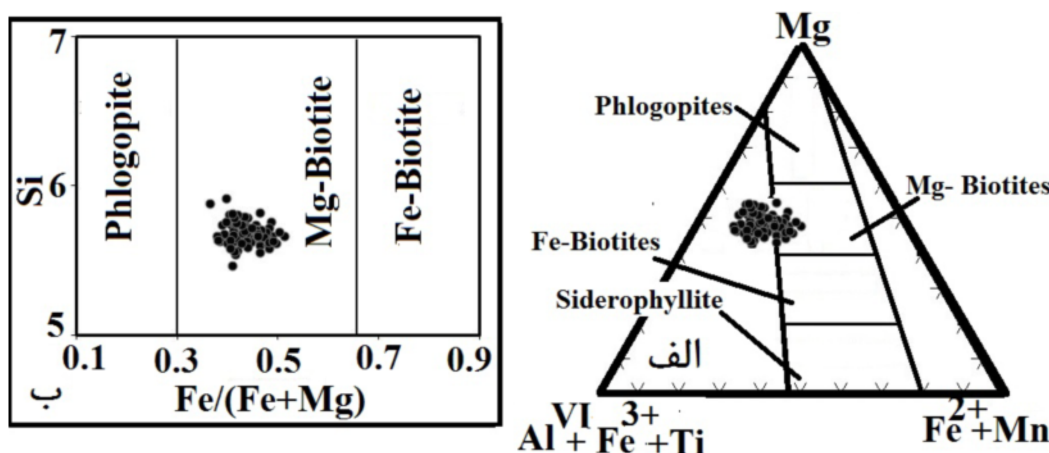
بنابر نمودار مثلثی $Mg-(Al^{IV} + Ti) - (Fe^{2+} + Mn)$ [۲] (شکل ۵ الف) بیوتیت‌های گرانیتوئید مکسان در گستره‌ی بیوتیت‌های منیزیم دار قرار گرفته که در واقع به دلیل تبلور اولیه‌ی اکسیدهای آهن در قالب مگنتیت و تیتانیم به‌صورت تیتانیت است. همچنین در نمودار Si نسبت به $Fe/(Mg + Fe)$ (شکل ۵ ب)، بیوتیت‌ها در گستره بیوتیت‌های منیزیم دار قرار می‌گیرد. حضور این مجموعه کانی یعنی بیوتیت منیزیم‌دار، مگنتیت و تیتانیت دلالت بر گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن در ماگماست [۱۹].

مقدار Al^{VI} در بیوتیت‌ها به‌عنوان یکی از معیارهای مهم برای بررسی ویژگی‌های آن‌هاست. همچنین Al^{VI} پایین تا صفر ($Al^{VI} < 1$) از ویژگی‌های بیوتیت‌های ماگمایی است [۲۰] که در مورد بیوتیت‌های مورد بررسی (۰٫۲۵ به‌طور میانگین) صدق می‌کند. به عقیده‌ی [۱۸] روند غنی شدگی از آهن و منیزیم در بیوتیت بستگی به گریزندگی اکسیژن در طول تبلور ماگما دارد به این دلیل که در شرایط اکسایش از منیزیم غنی شده و در شرایط احیاء از آهن غنی می‌شوند. بنابراین، سنگ‌های گرانیتوئید مکسان مطابق شکل ۵ در شرایط اکسیدان تشکیل شده‌اند.

از لحاظ محتوای هالوژن‌ها، بیوتیت گرانیت‌های مکسان از مقدار فلوئور بیشتری (کلر کمتر) نسبت به سنگ‌های بازیک و حدواسط برخوردارند. به‌طوری که مقدار میانگین فلوئور در سنگ‌های گرانیتی تا گابرویی از حدود ۰٫۸ تا ۰٫۲۸ درصد وزنی و مقدار میانگین کلر از حدود ۰٫۰۳ تا ۰٫۲۳ درصد وزنی متغیر است. هرچند توزیع فلوئور و کلر با تفریق ماگما روند افزایشی را در مذاب سیلیکاته نشان می‌دهد اما در مراحل آخر که یک فاز آبی در حال تشکیل است توزیع آن‌ها بین فاز آبی و مذاب سیلیکاته متفاوت است به‌طوری که فلوئور در مذاب سیلیکاته و کلر در فاز آبی غنی می‌شوند [۲۱] . معمولاً محلول‌های ماگمایی در دمای بالا از کلر غنی هستند و در دمای پایین‌تر از نقطه بحرانی از کلر فقیرتر می‌شوند [۲۲]. همچنین بنا بر اصل طرد آهن- فلوئور [۲۳، ۲۴]، افزایش آهن در محلول‌های ماگمایی با کاهش میزان فلوئور همراه است. بررسی‌های کانی-شناسی نیز حاکی از افزایش مقدار اکسیدهای آهن (مگنتیت) از گرانیت تا گابرو است. لازم به یاد آوری است که میزان جانشینی F و Cl در منظر هیدروکسیل میکاها به فعالیت F و Cl، ترکیب شیمیایی میکا و دما ماگما نیز بستگی دارد.



شکل ۴ رده بندی شیمیایی میکاهای گرانیتوئید مکسان در چهار ضلعی (ASPE).



شکل ۵ رده بندی شیمیایی میکاهای گرانیتوئید مکسان.

شناسایی بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌های ثانوی

به‌منظور شناسایی بیوتیت‌های اولیه از ثانویه از نمودار سه-تایی Feo + MnO، $10 TiO_2$، MgO [۲۰]. استفاده شده است این نمودار می‌تواند بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی را از بیوتیت‌های اولیه‌ای که دستخوش تعادل مجدد شده‌اند و نیز بیوتیت‌های ثانویه جدا کند. براساس این نمودار همه‌ی بیوتیت‌های مورد بررسی در گرانیتوئید مکسان، نسبتاً غنی از FeO و TiO_2 بوده و در قلمرو بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی قرار می‌گیرند (شکل ۶). بیوتیت‌های سنگ‌های گابرویی و دیوریتی، مقادیر TiO_2 و FeO بالاتری نسبت به گرانیت‌ها دارند (جدول ۱). مقدار میانگین TiO_2 از حدود ۲/۵ (گرانیت) تا ۴/۶ درصد وزنی (گابرو) متغیر است. بنابر نظر [۲۰]، مقدار Ti بیوتیت وابسته به دما بوده و با $X_{FeO^*}=[(FeO^*+MnO)/(FeO^*+MnO+MgO)]$ سنگ میزبان تغییر می‌کند. مقدار X_{FeO^*} در بیوتیت‌های مورد بررسی از ۰/۵۲ تا ۰/۶۴ متغیر بوده و بیوتیت‌های سنگ‌های حدواسط (دیوریتی) و بازیک (گابرویی) به‌طور چشمگیری با فازهای اکسیدی Fe-Ti همزیست‌اند که احتمالاً این ویژگی توانسته تا حدودی مقدار Ti آن‌ها را افزایش دهد. معمولاً مقدار Ti در بیوتیت‌های همزیست با فازهای اکسیدی اشباع از Ti افزایش نشان می‌دهد [۲۵]. بررسی‌های کانی‌شناسی حضور کانی‌های تیتان دار (اسفن و ایلمنیت) را تایید می‌کند و میزان کانی‌های مگنتیت و ایلمنیت از گرانیت تا گابرو روند افزایشی از خود نشان می‌دهد.

تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی

با توجه به اینکه بیوتیت‌ها ماهیت و شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما را نشان می‌دهند و ترکیب بیوتیت در مجموع تابع ترکیب و شرایط تبلور ماگمایی است که از آن متبلور شده است بنابراین می‌توان از آن به‌عنوان یک معیار مناسب برای شناسایی محیط زمین‌ساختی گرانیت‌ها استفاده کرد. عبدالرحمن [۱] با

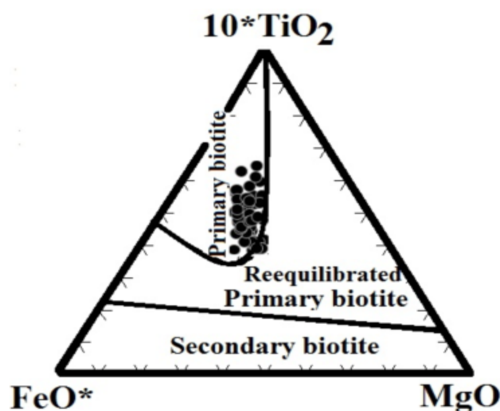
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]

استفاده از آنالیزهای سه اکسید MgO، Al_2O_3 و FeO^* در کانی بیوتیت یک نمودار مثلثی ارائه داد (شکل ۷ الف) که سنگ‌های گرانیتی را در سه گروه دسته بندی می‌کند: سنگ های قلیایی و ناکوهزایی (A)، سنگ‌های پرآلومین که بیوتیت های آن‌ها از آلومینیوم غنی و به سوی قطب سیدروفیلیتیک تمایل دارند و معمولاً همراه با مسکوویت و یا دیگر کانی‌های آلومینیوسیلیکات مثل گارنت، کردیریت و یا آندالوزیت هستند و شامل گرانیت‌های برخوردی نوع نوع S می‌شوند (P) و گرانیت‌های کوهزایی آهکی – قلیایی از نوع I که به‌طور متوسط غنی از منیزیم بوده و معمولاً همراه با آمفیبول کلسیم دار و یا پیروکسن کلسیم دار و وابسته به فرورانش هستند (C). در شکل ۷ موقعیت نمونه‌های مورد بررسی به تصویر درآمده‌اند . تمام نمونه‌های بیوتیت گرانیتوئید مکسان از نوع گرانیت‌های نوع I هستند و در پهنه‌ی C قرار می‌گیرند که به قلمرو بیوتیت در گرانیتوئیدهای آهکی – قلیایی فرورانشی وابسته‌اند. این یافته خاستگاه ماگمایی وابسته به فرورانش گرانیتوئید مکسان را تأیید می‌کند. نمودار Al_2O_3 نسبت به FeO^* که در شکل ۷ ب نشان داده شده نتایج بهتری را برای بیوتیت‌های گروه‌های متنوع سنگ‌های آذرین ماگمایی ارائه دهند[۱]. دو گروه C و P از لحاظ داشتن FeO تقریباً مشابه‌اند و در مقدار ثابت FeO^* ، افزایش Al_2O_3 باعث جدایش بین این دو گروه می-شود. در گروه A ، روند افزایش FeO^* با کاهش Al_2O_3 همراه بوده که این ناهمخوانی با جایگزینی Al و Fe^{2+}, در جایگاه هشت وجهی صورت می‌گیرد. بر همین اساس نمونه‌های گرانیتوئید مکسان دارای FeO (به‌طور متوسط ۱۷/۳۹wt%) و در گستره‌ی آهکی – قلیایی قرار می‌گیرند.

در نمودار Al_2O_3 نسبت به MgO دو گروه P,C عموماً روند افزایش MgO با کاهش Al_2O_3 نشان می‌دهد که این ناهمخوانی به جایگزینی منیزیم و آلومینیوم در جایگاه هشت وجهی بین بیوتیت‌ها مربوط می‌شود [۱] . بر اساس این نمودار هم بیوتیت های مورد بررسی در گستره‌ی آهکی – قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۷ پ) .

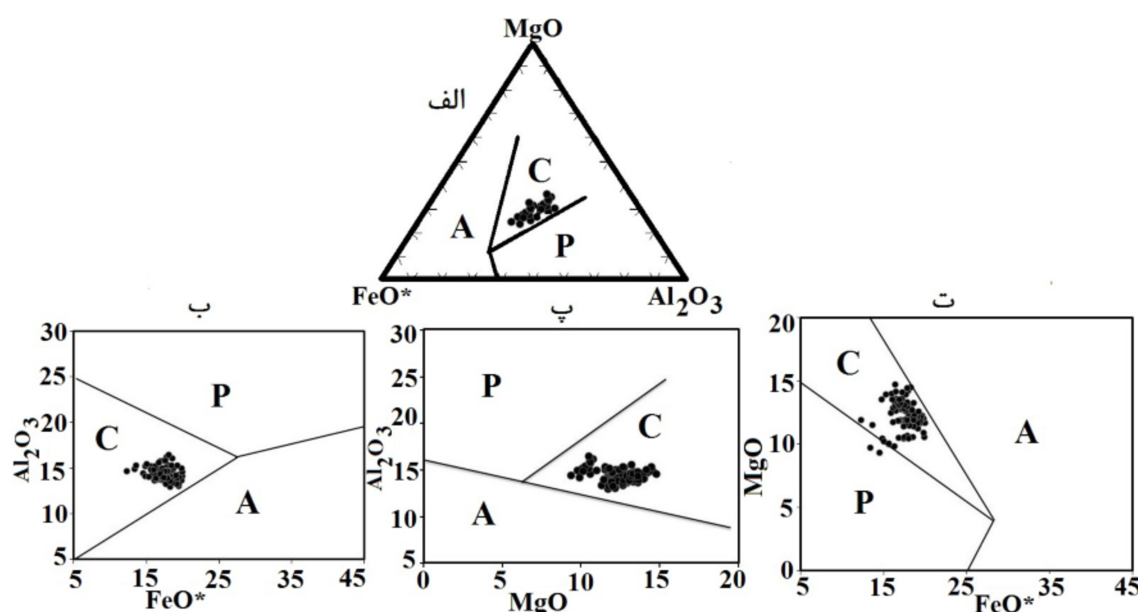
براساس نتایج نمودار FeO^* نسبت به MgO [۱] نیز، سنگ-های گروه C غنی از منیزیم بوده و به‌طور مشابه مقدار FeO^* در هر دو گروه C,P تقریباً ثابت است و میزان MgO باعث جدایی این دو گروه می‌شود. بین دو گروه A و C یک جایگزینی MgO - FeO کنترل شده در ترکیبات بیوتیت وجود دارد [۱]. براساس این نمودار نمونه‌های بیوتیت گرانیتوئید مکسان نسبت به منیزیم غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در گستره ی آهکی – قلیایی قرار می گیرند (شکل ۷ ت).

به‌طور کلی بیوتیت‌های آهکی – قلیایی با افزایش MgO، کاهش نسبی در مقدار Al_2O_3 نشان می‌دهند که می‌تواند در اثر فرآیندهای تبلور بیوتیت‌های غنی از Al در گدازه‌های آلومینیوم دار باشد و نیز ناهمخوانی Al_2O_3 و FeO را می‌توان ناشی از رفتار مشابه بین آهن و منیزیم دانست. در نمودارهای مورد بررسی با افزایش Al_2O_3 میزان MgO و FeO^* کاهش می‌یابد.



شکل ۶ نمودار سه تایی FeO^*، $10TiO_2$، MgO که بیوتیت‌های اولیه و بیوتیت های که دستخوش تعادل مجدد در محیط شده‌اند را از بیوتیت‌های ثانوی متمایز می‌سازد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]



شکل ۷ تعیین سری ماگمایی توده‌های مورد بررسی براساس ترکیب شیمیایی بیوتیت در نمودارهای جداکننده‌ی محیط زمین‌ساختی گرانیت ها [۱] . A : سنگ‌های قلیایی و غیرکوهزایی ، P : سنگ‌های برآلومین ، C : سنگ‌های آهکی – قلیایی.

در نمودار Al total-Mg [۲۶] نیزسنگ‌های گستره مورد بررسی در گستره‌ی منیزیم بالا و آهکی – قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۸) که با نتایج روش [۱] کاملاً همخوانی دارد.

از طرف دیگر ترکیب شیمی بیوتیت قادر به جدایی سنگ گرانیتی میزبان خود بر پایه‌ی رده بندی الفبایی گرانیت هاست، به گونه‌ای که [۲۷] بر حسب تغییرات نسبت Fe/(Mg + Fe) نسبت به Al^{IV} در بیوتیت نموداری را ارائه کردند که جدا کننده انواع گرانیت‌ها بر پایه خاستگاه آن‌هاست . در این نمودار تمام نمونه‌های بیوتیت مورد بررسی در گستره‌ی گرانیت‌های کوهزایی نوع I قرار می‌گیرند که با نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمی سنگ کل [۹] کاملاً همخوانی دارد (شکل ۹) .

تعیین میزان آلوگی پوسته‌ای گرانیت‌ها به کمک شیمی کانی بیوتیت

یکی از راه های تشخیص آلودگی، استفاده از چهارضلعی ASPE است که در آن دو متغیر Fe/Fe + Mg و Al total به ترتیب شاخص گریزندگی اکسیژن و پرآلومینه بودن ماگما در زمان تبلور بیوتیت است [۶]. چنانکه پیشتر نشان دادیم ترکیب میکاهای مورد بررسی دارای مقادیر Al کل متوسط و آهن کم (متوسط) است. چنین الگویی مختص بیوتیت در گرانیتوئیدهایی است که دستخوش آلودگی کمی از پوسته شده اند[۶].

بررسی‌های سنگ‌شناسی، و داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی و ایزوتوپی برروی سنگ‌های مجموعه گرانیتوئید بزمان نشان داد که این مجموعه یک کمپلکس نفوذی آهکی- قلیایی از نوع I است و دارای ویژگی‌های ماگماتیسم حاشیه فعال قاره ای است، به عبارت دیگر پلوتونیسم آن را به فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی عمان (پوسته عربی) به زیر پوسته‌ی قاره‌ای ایران مرکزی در نظر می‌گیرند[۱۶]. بربریان [۹] با تکیه بر داده‌های ایزوتوپی، عقیده دارد که این گرانیتوئید دستخوش آلودگی‌های پوسته‌ای کمی شده است. بنابراین با توجه به این نکته و نیز بازه متوسط تغییرات مقادیرآلومینیم بیوتیت‌های گرانیتوئید مکسان در نمودار (شکل۹)، می توان نتیجه گرفت گرانیتوئیدی مکسان دارای آلودگی پوسته‌ای کم تا متوسط است.

در روش دیگر از عناصر فرار برای تعیین میزان آلودگی پوسته ای در گرانیت‌ها استفاده می‌شود. در ساختار بیوتیت، Cl ،F و OH آنیون‌های قابل جایگزینی در مراحل اولیه، در موقعیت آبدارند. در صورتی که Fe و Mg، عناصر اصلی سازنده این کانی بوده و در جایگاه‌های هشت وجهی قرار می‌گیرند بر این اساس آگو و بریمهال [۲۸] یک طرح رده‌بندی برای واحدهای مختلف گرانیتی باتولیت کالیفرنیا ارائه کرده و با استفاده از عناصر ردیاب و شیمی آمفیبول، آن را کامل کرده‌اند. بنابر این رده بندی سنگ‌های حاوی بیوتیت با توجه به $LogX_F/X_{Cl}$ و افزایش نسبت F/OH ، به گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک -I

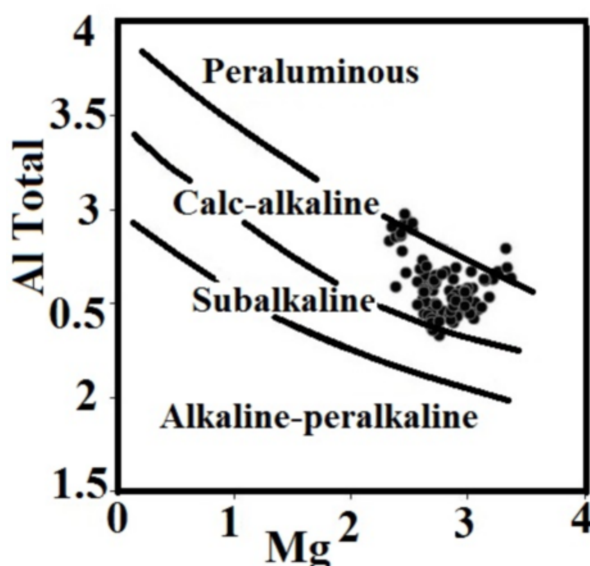
[DOI: 10.29252/ijcm.23.1.35]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]

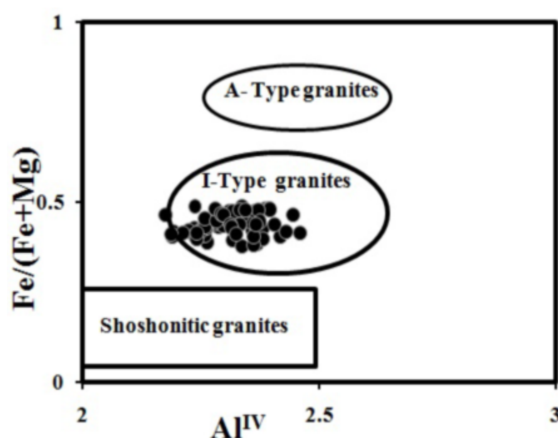
WC (I-type granites Weakly Contaminated) ، گرانیت های نوع I دارای آلودگی متوسط I-MC (I-type granites Moderately Contaminated)، گرانیت های نوع I به شدت آلوده I-SC (I-type granites Strongly Contaminated) و گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده I-SCR (I-type granites Strongly Contaminated and Reduce) تقسیم شده اند.

بنابر شکل ۱۰، نمونه‌های گرانیتوئید مکسان در گستره‌ی گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک I-WC و آلودگی متوسط I-MC قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها آلومینیم کمتر و منیزیم بیشتری داشته و گرایش به داشتن منگنز کمتر و مقدار فلوئور بالاتری در ساختار بیوتیت‌های خود دارند. برعکس کلر در آن‌ها واکنش نشان می‌دهد که همه این موارد بر آلودگی کم تا متوسط ماگمای سازنده آن‌ها با پوسته قاره‌ای دلالت دارد.

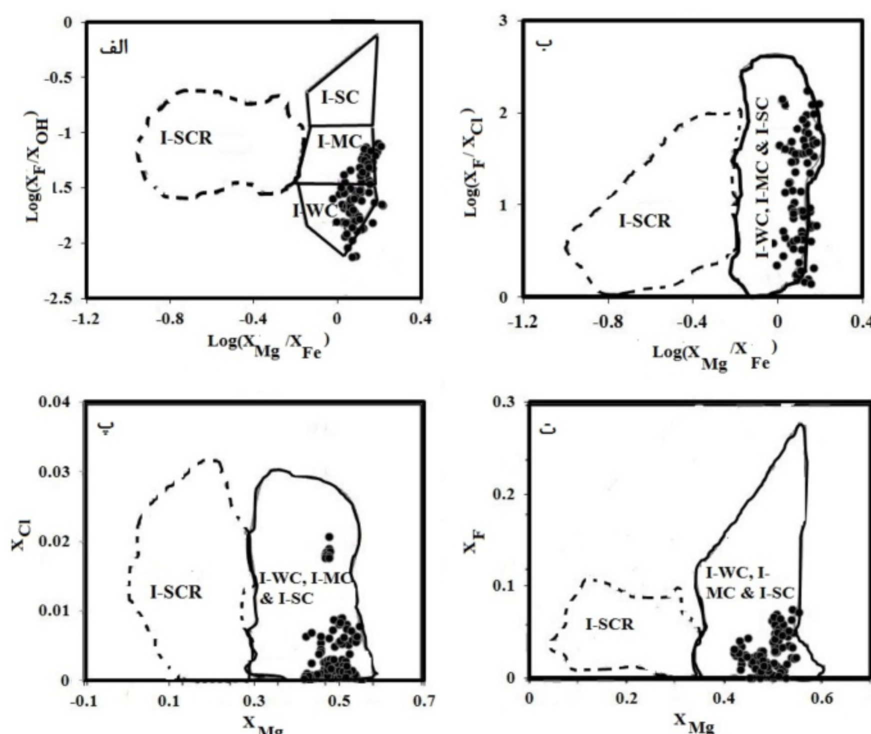
این یافته‌ها در مقایسه با نتایج حاصل از داده‌های ایزوتوپی [۹، ۱۶] که بر اساس آن‌ها مقدار نسبت اولیه‌ی $^{87}Sr/^{86}Sr$ برای تعدادی از سنگ‌های مجموعه گرانیتوئید بزمان پایین و چیزی در حدود ۰/۷۰۴است و آلودگی اندک با پوسته‌ی قاره‌ای را نشان می‌دهد، همخوانی دارند.



شکل ۸ تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای مورد بررسی براساس ترکیب شیمیایی بیوتیت [۲۶].



شکل ۹ نمودار تغییرات نسبت Fe/(Mg+Fe) مقابل Al^{IV} موقعیت ترکیب بیوتیت‌های گرانیتوئید مکسان را نشان می‌دهد. گستره‌های گرانیت‌های نوع A و I و شوشونیتی توسط [۲۷] ارائه شده است.



شکل۱۰ ترکیب شیمی بیوتیت‌های گرانیتوئید مکسان روی نمودارهای [۲۸].I-WC (گرانیت‌های نوع I با آلودگی اندک)، I-MC (گرانیت‌های نوع I دارای آلودگی متوسط)، I-SC (گرانیت‌های نوع I به شدت آلوده)، I-SCR (گرانیت‌های نوع I احیایی به شدت آلوده).

برداشت

براساس رده‌بندی شیمیایی میکاها، ترکیب میکاهای مورد بررسی در حدفاصل بین دو قطب آنیت و سیدروفیلیت قراردارند و با توجه به مقدار Fe/Fe + Mg جزء بیوتیت‌ها محسوب شده و از فلوگوپیت جدا می‌شوند. ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها از نوع بیوتیت های منیزیم‌دار بوده و با توجه به مقادیر اکسیدهای TiO_2، MgO، MnO ، FeO و نیز مقادیر Al^{IV} جزء انواع ماگمایی اولیه به حساب می‌آیند. این بیوتیت‌ها در محیطی با گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن تشکیل شده و صفات آهکی قلیایی و نوع I نشان می‌دهند که با ویژگی تکتونوماگمایی محیط‌های وابسته به فرورانش همخوانی دارد. همچنین شیمی کانی بیوتیت نشان می‌دهد که آلودگی ماگمای سازنده این گرانیتوئید با پوسته قاره‌ای، کم تا متوسط است.

مراجع

[1] Abdel-Rahman A.M., *"Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous Magmas"*, Journal of Petrology 35 (2) (1994) 525–541.

[2] Foster M.D., *"Interpretation of the composition of trioctahedral micas"*, United states Geological Survey Professional Paper 354-B (1960) 11-46

[3] Spear J.A., *"Micas in igneous rocks"*, In: Micas, Bailey S.W., (ed); Mineralogical Society of America Review in Mineralogy, 13 (1984) 299-356.

[4] Esmaeily D., Maghdour – Mashhour R., *"Geochemistry of biotites from Boroujerd granitoid complex, SSZ, Iran: A crucial factor for illustration petrogenesis and tectonomagmatic environment of host rock?"* , Geophysical Research Abstracts, vol. 11, EGU (2009) 7980.

[5] Karimpour M.H., Stern C.R., Mouradi M., *"Chemical composition of biotite as a guide to petrogenesis of granitic rocks from Maherabad, Dehnow, Gheshlagh, Khajehmourad And Najmabad , Iran"*, Iranian Society of Crystallography and Mineralogy , 18,no. 4, (2011) 89-100 .

[6] Shabani A.A.T., Masudi F., Tecce F., *"An investigation on biotite composition from Mashhad granitoid rocks, NW Iran"*, Journal of Science of Islamic Republic of Iran, 21 (4) (2010) 321-331.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]

[7] Boomeri M., Mizuta T., Ishiyama D., Nakashima K., *"Fluorine and Chlorine in biotite from the Sarnowsar granitic rocks, northeastern Iran"* Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A30 A1 (2006)111–125.

[۸] اشرفی ن.، جهانگیری ا.، عامری ع هسب ع.، ابی ن.، *"شیمی کانی بیوتیت در توده های آذرین قلیایی بزقوش و کلیبر، شمال غرب ایران"*، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۸۸) ۳۸۱-۳۹۴.

[9] Berberian F., *"Petrogenesis of the Iranian Plutons: A study of the Natanz and Bazman intrusive Complexes"*, Ph.D. Thesis, Cambridge University (1981).

[۱۰] قدسی م.ر.، *"اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک برگه کرمانچی (شمال غرب ایرانشهر)"*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی تهران (۱۳۸۴).

[۱۱] جمشیدی م.، *"تشکیل اسکارن و کانی زایی مس گربودار، جنوب شرق آتشفشان بزمان"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۹۰).

[12] Rieder M., Cavazini G,.Yakonov Y.D., Frank – Kanetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H. Weiss Z., Wones D.R., *"Nomenclature of the micas"*, Canadian Mineralogist 36(3) (1998) 905-912.

[13] Gunow A.J., Ludington S., Munoz J.L., *"Fluorine in micas from the Henderson molybdenite deposits, Colorado"*, Economic Geology 75(1980) 1127–1137.

[۱۴] وحدتی دانشمند ف.، جرجندی م.، *"نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش مکسان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"*، (۱۳۸۳).

[۱۵] سهندی م.ر.، پاداشی م.، *"نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش بزمان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور"*، (۱۳۸۴).

[16] Berberian F., Muir I.D., Pankhurst R.J., Berberian M., *"Late Cretaceous and Early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran"*, Journal of the Geological Society of London, 139, (1982) 605–14.

[17] Streckeisen A., *"To each plutonic rock its proper name"*, Earth-Science Reviews 12 (1976), 1-33.

[18] Wones D.R Eugster H.P., *"Stability of biotite: experiment, theory, and application"*, American Mineralogist 50(1965) 1228-1272.

[19] Ishihara S., *"The magnetite series and ilmenite-series granitic rocks"*, Mining Geology 27(1977)293-305.

[20] Nachit H., Lbhi A., Abia E.H., Ohoud M.B., *"Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and magmatic biotites and neoformed biotites"*, Geomaterials (Mineralogy), Geoscience 337 (2005) 1415-1420.

[21] Zhu C., Sverjensky D.A., *"Partitioning of F-Cl-OH between biotite and apatite"*, Geochim Cosmo Chim Acta, 56 (1992) 3435-3467.

[22] Webster J.D., *"Partitioning of Cl between magmatic hydrothermal fluids and highly evolved granitic magmas"*, Geological Society of America, Special Publication (1990) 246p.

[23] Monuz J.L., Ludington S.D., *"Fluoride hydroxyl exchange in biotite"*, American Journal of Science 274 (1974) 396-413.

[24] Monuz J.L., *"F-OH and CI-OH exchange in mica with application to hydrothermal ore deposits"*, Reviews in Mineralogy13 (1984) 469-493.

[25] Dymek R.F.,*"Titanium and interlayer cation substitutions in biotite from high gread Gneisses, west Greenland"*, American mineralogist 68 (9-10) (1983) 880-889.

[26] Nachit H., Rezfimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P., *"Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides"*, Comptes Rendus Hebdomadaires de 1 Academic des Sciences 301(11) (1985)813-818.

[27] Jiang Y.H., Jiang S.Y., Ling H.F., Zhou X.R., Rui X.J., Yang W.Z., *"Petrology and geochemistry of shoshonitic plutons from the westwrn Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China:implications for granitoid genesis"*, Lithos 693(2002) 165-187.

[28] Ague J.J., Brimhall G.H., *"Regional variation in bulk chemistry, mineralogy and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholites of California"*, Geological Society of America Bulletin, 100(1988)891-911.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.3.5]